

# 연속적 미디어의 서비스 질 보장을 위한 스케줄링

길아라, 구제웅<sup>o</sup>  
송실대학교 컴퓨터학부  
ara@comp.ssu.ac.kr, airspace@archi.ssu.ac.kr<sup>o</sup>

## Scheduling for guaranteeing QoS for continuous media

Ara Khil, Jewoong Ku<sup>o</sup>  
Dept. of Computer Science, Soongsil University

### 요 약

분산 환경의 많은 멀티미디어 응용들은 연속적 음성/화상 자료들을 위한 실시간 특성을 가지는 패킷들을 생성하고, 실시간 태스크 스케줄링 이론에 따라 이들을 전송한다.

본 논문에서는 광대역폭 통신망을 기반으로 하는 분산 멀티미디어 응용의 연속 미디어를 위한 트래픽의 특성을 모델링하고, 보다 사용자의 요구에 따른 서비스 질의 보장을 위하여 비선점적 경성 실시간 태스크 스케줄링 이론인 PDMA 알고리즘을 도입한다. 또한, 응용 시스템의 고 품질 서비스를 유지하기 위하여 새로운 트래픽 발생 요청이 현재 진행 중인 서비스 내용에 영향을 주지 않도록 제어하는 사용권 제어 기법을 제안한다. 제안하는 사용권 제어 기법은 PDMA 알고리즘을 위한 충분조건식이기 때문에 이를 만족하는 메시지 집합에 대하여 PDMA 알고리즘은 항상 실행가능한 스케줄을 찾을 수 있다. 따라서, 새로운 요청을 포함하는 전체 메시지 집합이 제안하는 사용권 제어 기법의 조건들을 만족하면, 새로운 요청에 의한 트래픽의 발생을 허용한다. 그렇지 않은 경우 새로운 요청을 거절한다.

끝으로 본 논문에서 제안하는 사용권 제어 기법을 이용하는 스케줄링의 실용성을 입증하기 위한 모의실험 결과를 보인다.

### 1. 서 론

연속 디지털 음성 및 동화상 정보들을 포함하는 멀티미디어 트래픽 (multimedia traffic)을 지원하는 실시간 통신 응용 시스템(real-time communication application)에서 임의의 메시지가 마감시간이 지난 후 목적지에 도착한다면 그 메시지는 더 이상 쓸모없는 정보일 뿐만 아니라 현재 제공되고 있는 멀티미디어 응용 시스템의 서비스의 질은 극감한다. 따라서, 멀티미디어 트래픽을 발생하는 실시간 통신 응용의 보다 높은 QoS 보장을 위해서는 발생하는 모든 메시지들을 마감시간 이전에 목적지까지 전달하도록 스케줄링 할 수 있도록 실시간 태스크 스케줄링 이론을 도입이 반드시 필요하다[1, 5, 6, 7, 8, 9].

많은 연구결과, 멀티미디어 트래픽을 위한 메시지 스케줄링을 위하여 비선점적 EDF(earliest-deadline-first) 스케줄링 정책을 기반으로 하는 실시간 메시지 스케줄링 기법을 제안하고 있다[1, 5, 6, 7, 8, 9]. 그러나 비선점적 EDF 정책을 기반으로 하는 메시지 스케줄링 기법들은 특성 상 스케줄링 가능성 (schedulability)이 매우 낮다는 공통적인 문제점이 있다[1, 2, 3, 4, 5, 7, 8]. 특히, 메시지들의 최초 패킷 생성시간을 사용자가 임의의 시간으로 지정하는 메시지 집합에 대하여 비선점적으로 실행가능한 스케줄 (feasible schedule)을 찾을 수 있는가를 결정하는 문제 자체가 NP-hard 문제로 알려져 있다[3]. 결국, 비선점적 EDF 정책을 사용하는 경우, 많은 경우의 메시지 집합에 대하여 스케줄링이 가능함에도 불구하고 실행가능한 스케줄을 찾을 수 없다는 결과를 나타낸다.

예상된 마감시간 초과 회피 (Precalculated Deadline-Missing Avoidance: PDMA) 알고리즘은 시스템 내에서 발생하는 모든 멀티미디어 메시지들의 높은 서비스 질 보장을 지원함과 동시에 비선점적 EDF 알고리즘의 스케줄링 가능성을 향상시킨 비선점적 EDF 정책 기반의 휴리스틱 알고리즘이다[5, 6]. PDMA 알고리즘은 발생한 메시지 집합에 대하여 최악의 경우 비선점적 EDF 정책의 경우와 동일한 방법으로 스케줄링하지만 이의 정확적 증명이 이루어지지 않고 있다. 또한, PDMA 알고리즘을 실제 동적인 멀티미디어 응용 시스템에 적용할 경우, 스케

줄링 지연 결정 자체를 위하여 많은 시간이 소모되기 때문에 효율적인 적용이 어렵다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 패킷교환망 상에서 발생하는 멀티미디어 트래픽의 높은 QoS 보장을 지원하고 스케줄링 가능성을 보다 높이기 위한 PDMA 알고리즘을 정형적으로 분석하고, 이 알고리즘의 효율적인 적용을 목적으로 새로운 사용권 제어 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 사용권 제어 기법은 PDMA 알고리즘을 사용하여 실행 가능한 스케줄을 찾기 위한 충분조건식이다. 새로운 트래픽 발생에 대한 사용자의 요청이 도착하는 경우, 새로 발생한 메시지와 기존의 메시지 집합의 모든 메시지들에 대하여 조건식이 만족하는 경우, 새로운 멀티미디어 트래픽을 발생하는 메시지를 전송하여야 하는 메시지 집합에 포함하여 전송 서비스를 재 시작한다. 그렇지 않은 경우, 새로이 발생한 트래픽 요청에 대한 전송 서비스를 거절한다.

본 논문은 제 2장에서는 멀티미디어 트래픽을 모델링 하고, PDMA 알고리즘에 대하여 간략하게 설명한다. 제 3장에서는 PDMA 알고리즘을 위한 사용권 제어 기법을 제안한다. 제 4장에서는 제안하는 사용권 제어 기법의 효용 가능성을 모의실험 결과를 통하여 나타내 보인다. 끝으로 제 5장에서는 결론 및 앞으로 진행될 연구의 내용에 대하여 논한다.

### 2. 멀티미디어 트래픽 모델 및 PDMA 알고리즘

멀티미디어 트래픽을 발생시키는 메시지는 여러 사용자의 멀티미디어 응용 서비스 요청에 의하여 발생하며, 단방향 (uni-direction) 실시간 통신망의 연결을 형성하고, 사용자의 요청에 따른 일정 시간 이후부터 MPEG[11]등을 이용하여 연속 미디어 정보들을 압축함으로써 다양한 크기의 실시간 패킷들을 주기적으로 생성한다. 동시에 하나 이상의 메시지들이 하나의 통신 링크 사용권을 요청할 수 있으므로 통신 링크 사용을 위한 스케줄링의 대상은 메시지들의 집합이다.

[정의 1]  $C_i, P_i, R_i$  가 각각 다음과 같이 정의될 때, 하나의 통신 링크에 대한 스케줄링 대상 메시지 집합  $M = \{ m_1, m_2, \dots, m_n \}$ 의

$i$  번째 메시지  $m_i$ 는  $m_i = (C_i, P_i, R_i)$ ,  $1 \leq i \leq N$ 의 특성을 가진다.

- $C_i$ : 메시지  $m_i$ 의 최대 패킷 전송 시간 (maximum transmission time of packets),
- $P_i$ : 메시지  $m_i$ 의 최소 패킷 생성 간 시간 (minimum inter-arrival time of packets), 즉, 메시지  $m_i$ 의 패킷 생성 주기,
- $R_i$ : 메시지  $m_i$ 의 최초 패킷 생성 시간 (time to start the generation of packets).

임의의 메시지 집합  $M$ 내의 메시지  $m_i$ 들은  $P_i$ 에 대하여 올림차순으로 정렬되어 있다. 메시지  $m_i$ 로부터 발생하는 패킷들의 최대 크기는  $C_i$ 의 크기로서 제한한다. 각각의 메시지를 위한 패킷들은 주기적으로 생성되므로 메시지  $m_i$ 의  $k$ 번째 패킷인  $m_{i,k}$ 는  $(R_i + (k-1) \times P_i)$  시간 이후부터 전송을 시작할 수 있으며, 마감 시간인  $(R_i + k \times P_i)$  시간 이전까지  $C_i$ 만큼의 시간동안 통신 링크를 비선정적으로 사용함으로써 전송을 완료한다. 일단 사용권을 허가받은 메시지는 회로교환망 (circuit switched network)의 경우와 동일하게 독점적으로 통신망을 사용한다고 가정하며, 메시지 전송 시의 통신 링크 사용에 대한 선점은 새로운 패킷을 전송하는 시점에서만 발생한다. 또한, 본 논문에서는 시간 및 시스템 시계 값은 0보다 큰 양의 정수 값으로 가정하며, 모든  $C_i$ 와  $P_i$ ,  $R_i$  값들은 시스템 시계 값의 양의 정수배로 나타난다.

[정의 2]  $S(M)_{time(a)}^{time(b)}$ 는 시간구간  $[time(a), time(b)]$  내에서 메시지 집합  $M$ 에 대하여 임의의 스케줄링 알고리즘을 적용하여 찾을 수 있는 실행가능한 부스케줄 (feasible sub-schedule)이다.

[정의 3]  $S(m_{i,k})_{time(a)}$ 는 임의의 스케줄링 알고리즘을 적용하여 메시지  $m_i$ 의  $k$ 번째 패킷  $m_{i,k}$ 를 시점  $time(a)$ 으로부터 스케줄하였을 때 생성되는 임의의 실행가능한 부스케줄이다.

[정의 4]  $S_P(M)_{time(a)}$ 는 알고리즘  $P$ 를 적용하여 시간구간  $[time(a), time(b)]$  내에서 찾을 수 있는 메시지 집합  $M$ 에 대한 임의의 실행가능한 스케줄이다.

[정의 5]  $N_{i,time(a)}$ 는 시점  $time(a)$ 에서의 메시지  $m_i$ 를 위한 다음 패킷, 즉 시점  $time(a)$  이후 스케줄할 메시지  $m_i$ 의 첫 번째 패킷이다.

[정의 6]  $PS(m_{i,k})_{time(a)}$ 는 시점  $time(a)$ 에서의 패킷  $m_{i,k}$ 를 위한 예상 부스케줄 (precalculated sub-schedule)로서 시점  $time(a)$ 에서 패킷  $m_{i,k}$ 를 비선정적으로 스케줄한 후, 모든  $N_{j,time(a)}$  ( $1 \leq j < i$ )들을 시점  $(time(a) + C_i)$  이후부터 비선정적 EDF 알고리즘을 사용한 부스케줄이다.

그림 1은 C언어 형태의 의사 코드 (pseudo-code)로 표현한 PDMA 알고리즘 [12, 13]이다.

[정리 1] 주어진 메시지 집합  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ 에 대하여 스케줄링 종료시간까지 생성되는 총 패킷의 개수를  $n$ 이라 하면, PDMA 알고리즘의 시간 복잡도는  $O(n \cdot N^2 \log N)$ 이다.  
증명 생략. □

[정리 2] 주어진 메시지 집합에 대하여 비선정적 EDF 알고리즘을 적용하여 실행가능한 스케줄을 찾을 수 있다면, 같은 메시지 집합에 대하여 PDMA 알고리즘은 항상 실행가능한 스케줄을 찾을 수 있다.  
증명 모순에 의한 증명. 생략. □

3. 단일 통신 링크에 대한 사용권 제어 기법

[정리 3] 주어진 메시지 집합  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ ,

$m_i = (C_i, P_i, P_i)$ ,  $1 \leq i \leq N$ 이 다음의 조건식 (1)과 (2)를 만

일력: 메시지 집합  $M$ , 스케줄링 종료시간(end-time)  
출력: 메시지 집합  $M$ 을 위한 실행가능한 스케줄 또는 스케줄링 실패

```

(1) while (0 ≤ ctime ≤ end-time) do {
(2)   select  $m_{i,k}$  from ready-queue by the EDF policy ;
(3)   for j ← 1, i-1 do {
(4)     next-queue ← next-queue ∪ {  $N_j, ctime$  } ;
(5)   }
(6)    $PS(m_{i,k})_{ctime} \leftarrow S(m_{i,k})_{ctime} \cup S_{EDF}(next-queue)_{ctime+C_i}$  ;
(7)   if ( $PS(m_{i,k})_{ctime}$  is feasible) {
(8)      $S_{PDMA}(M)_0^{ctime+C_i} \leftarrow S_{PDMA}(M)_0^{ctime} \cup S(m_{i,k})_{ctime}$  ;
(9)     ctime ← ctime +  $C_i$  ;
(10)  }
(11)  }
(12)  else {
(13)    deferred-queue ← deferred-queue ∪ {  $m_{i,k}$  } ;
(14)  }
(15)  while (ready-queue is empty) do {
(16)    ctime ← ctime + 1 ;
(17)    ready-queue ← ready-queue ∪ deferred-queue ;
(18)  }
(19) }
    
```

그림 1. PDMA (Precalculated Deadline-Missing Avoidance) 알고리즘  
즉하면 PDMA 알고리즘은 메시지 집합  $M$ 을 위한 실행가능한 스케줄을 구할 수 있다.

$$(1) \sum_{i=0}^N \frac{C_i}{P_i} \leq 1,$$

$$(2) \forall i, 1 < i \leq N, \forall L, \min(2 \cdot P_i, P_{i-1}) < L < P_i,$$

$$L \geq C_i + \sum_{j=1}^{i-1} \lfloor \frac{L-1}{P_j} \rfloor \cdot C_j + \sum_{k=2}^N \alpha \cdot C_k,$$

where  $\alpha = \begin{cases} 1 & \text{if } C_i + C_k \leq \min(P_k, L) \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$

증명 모순에 의한 증명. 마감시간 초과가 발생한 최초의 시간을  $time(a)$ 이라고 하자. 임의의 시간  $time(b) (< time(a))$ 를 시간 구간  $[time(b), time(a)]$  내에서  $time(b)$ 보다 이른 마감시간을 가지는 패킷들을 전송하기 위하여 통신 링크가 BUSY 상태에 있을 최초의 시간이라고 하면, 시점  $time = time(b)$ 에서 다음과 같이 세가지 경우가 발생한다.

경우 1: 통신 링크가 유휴 상태이고, 시점  $time = time(b)$  이전에 발생되어 전송 대기 중인 패킷이 하나도 없는 경우

경우 2: 통신 링크가 유휴 상태이고, 시점  $time = time(b)$  이전에 하나 이상의 패킷이 발생되어 대기 중인 경우

경우 3: 마감시간이  $time(b)$  보다 늦은 패킷들을 전송하기 위하여 통신 링크가 사용중 상태인 경우

각각의 경우에 대하여 임의의 메시지 집합  $M$ 을 PDMA 알고리즘으로 스케줄링하는 경우, 조건식 (1)과 (2)를 만족하지만 메시지 집합  $M$ 내의 임의의 메시지를 위한 임의의 패킷의 마감시간 초과가 발생하였다고 가정하고 이러한 가정이 모순됨을 나타내 보인다. 증명은 패킷 전송에 필요한 통신 링크의 활용도를 기반으로 한다. 종략 □

4. 모의실험 및 성능 분석

모의실험은 링크에 대한 가능한 부하를 최대로 하였을 때, 3개 이상의 메시지가 포함되어 있는 200개의 메시지 집합  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ 에 대하여 진행한다. 새로운 메시지를 포함하는 메시지 집합

$M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ 에 대하여 PDMA 알고리즘의 사용권 제어기법을 적용하여 모든 메시지들이 조건식을 만족하면 PDMA 알고리즘을 통하여 항상 실행가능한 스케줄을 찾을 수 있으므로 스케줄링 가능하다고 판단한다. 동일한 메시지 집합  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ 에 대하여 EDF 알고리즘을 적용하였을 경우 실행가능한 스케줄을 찾을 수 있다면 메시지 집합  $M$ 은 EDF 알고리즘에 의하여 역시 스케줄링 가능하다고 한다. 모의실험은 멀티미디어 메시지를 스케줄링 및 전송하는 서버에서 진행된다 가정하며 전송 경로에서 소요되는 통신 지연시간은 없다고 가정한다.

그림 2와 그림 3은 각각 통신 링크에 걸리는 부하가 최대치 ( $\sum_{i=1}^{N+1} \frac{C_i}{P_i} \geq 90(\%)$ )로 하였을 때 전송할 메시지의 최대 패킷의 주기 대비 크기가 변함에 따라 나타나는 스케줄링 가능성을 나타내 보인다.

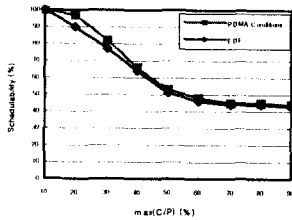


그림 2. 최초 패킷 생성 시간이 모두 같은 경우

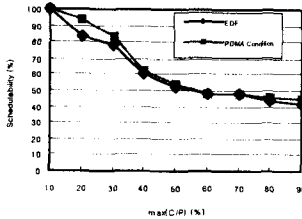


그림 3. 최초 패킷 생성 시간을 각각 임의의 시간으로 지정할 경우

그림 2는 메시지 집합  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ 의 모든  $m_i$ 가 동시에 패킷을 생성하기 시작하고, 각 멀티미디어 데이터에 대하여 허용하는 최대 패킷의 크기가 주기에 대비하여 크기가 변화하는 경우에 대한 모의실험 결과이다. 그림 3은 메시지 집합 내의 모든 메시지들의 최초 패킷 생성 시간을 미리 임의의 시간 값으로 지정할 경우에 대한 모의실험 결과로서 시스템 동작 도중, 동적으로 발생하는 메시지를 포함하는 메시지 집합에 대하여 실행가능한 스케줄을 찾을 수 있는가에 대한 모의실험 결과이다.

그림 2와 그림 3에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안하는 PDMA 알고리즘을 위한 사용권 제어기법의 두 가지 조건식은 EDF 알고리즘을 실제 적용한 경우에 비하여 높은 스케줄링 가능성을 나타내 보인다. 따라서 실제 PDMA 알고리즘을 적용할 경우 더 높은 스케줄링 가능성을 기대할 수 있다. 특히, 두 가지 모의실험 결과 모두에서 메시지 집합 내 최대 프레임의 크기가 30% 이하인 경우 보다 더 높은 성능을 나타내 보는데 이는 실제 멀티미디어 응용 시스템에서 사용하는 MPEG[10]과 같은 압축 기술을 적용한 경우의 멀티미디어 데이터의 프레임 크기와 주기 간의 관계가 이와 유사함을 고려한다면 PDMA 알고리즘을 사용하여 실제 응용 시스템을 구축할 경우, 매우 좋은 결과를 기대할 수 있음을 알 수 있다.

한편, 모의실험 결과에 따르면 메시지 집합 내 메시지의 수에 의한 링크의 부하보다 각 메시지로부터 생성되는 프레임, 또는 패킷들의 주기 대비 크기가 집합 전체의 스케줄링 가능성에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 즉, 임의의 한 패킷의 크기가 주기대비 60%이상이라면 이 메시지를 전송하기 위하여 할당하여야 하는 전송 링크의 부하 또한 60% 이상을 차지하게 되어 이 경우, 집합 내에 포함되는 메시지의 수가 급

감한다. 이러한 경우, 전체 메시지 집합에 대한 스케줄링 가능성은 더 이상 감소되지 않는다.

### 5. 결론

본 논문에서는 광대역폭 통신망을 기반으로 하는 분산 멀티미디어 응용 시스템의 연속 미디어 트래픽의 특성을 분석 및 모델링하고, 이들을 보다 효율적이고 사용자의 요구에 만족할 수 있도록 서비스하기 위하여 경성 실시간 태스크의 비선형적 스케줄링 이론을 도입, 적용하였다. 도입한 경성 실시간 태스크 스케줄링 이론의 효율성 및 타당성은 수학적 검증 방법을 이용하여 나타내 보였으며 특히, 기존의 실제 시스템에서 가장 많이 사용하고 있는 비선형적 EDF 알고리즘과의 관계를 나타내 보였다. 또한, 전체 응용 시스템의 고 품질 서비스를 만족시키기 위하여 새로운 트래픽 발생이 기존의 트래픽 전송 및 서비스 품질에 영향을 주지 않도록 하는 통신 링크 사용권 제어 기법을 설계, 제안하여 동적인 환경에서 보다 안정적이고 높은 스케줄링 가능성을 나타내 보임으로써 보다 실용적인 구현이 가능하도록 하였다.

본 논문에서 설계, 제안하는 메시지 스케줄링 기법들은 수학적 방법 뿐만 아니라 기존의 비선형적 EDF 스케줄링 이론의 성능과 비교하는 모의실험 결과들을 통하여 높은 스케줄링 가능성 및 높은 실용 가능성을 나타내 보였다.

현재 모의실험을 위하여 구축한 멀티미디어 서비스 시스템 환경을 LINUX 기반의 실제 분산 환경으로 확장, 적용하는 작업이 이루어지고 있으며, 앞으로의 연구는 실용 가능성에 중점을 두어 MPEG 등과 같은 멀티미디어 데이터 압축 기술을 포함한 실제 멀티미디어 서비스 환경을 설계 및 구축을 목표로 진행될 것이다.

### 참고문헌

- [1] Caglan M. Aras, Janes F. Kurose, Douglas S. Reeves, and Henning Schulzrinne. "Real-time Communication in packet-switched networks". In *Proceedings of the IEEE*, 82(1):122-139, 1994.
- [2] C.L. Liu and J.W. Layland. "Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard-real-time environment". *Journal of the Association for Computing Machinery*, 20(1):46-61, 1973.
- [3] K. Jeffay, D.F. Stanat, and C.U. Martel. "On non-preemptive scheduling of periodic and sporadic tasks". In *Proceedings of Real-Time Systems Symposium*, pages 129-139, 1991.
- [4] D.L. Gall. "Mpeg: A video compression standard for multimedia applications". *Communications of the ACM*, 34(4):46-58, 1991.
- [5] 길아라, 맹승렬 "초기 시작 시간이 주어진 주기적 실시간 태스크의 비선형 스케줄링에 관한 연구", 한국정보과학회논문지, 제 24권, 제 4호, pp. 321-331, April 1997.
- [6] Ara Khil and Seungyoul Maeng. "Scheduling of Multimedia Traffic for Continuous Media in Packet-Switched Networks", in *Proceedings of Multimedia Computing and Networks*, SPIE, Feb, 1997.
- [7] Qin Zheng and Kang G. Shin. "Fault-Tolerant Real-Time Communication in Distributed Computing Systems". *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 9, No. 5, May 1998.
- [8] Luca Abeni and Giorgio Buttazzo. "Integrating Multimedia Applications in Hard Real-Time Systems", in *Proceedings of Real-Time Systems Symposium*, pages 4-13, 1998.
- [9] Kevin Jeffay, Steve Goddard, "Rate-Based Resource Allocation Models for Embedded Systems", in *Embedded Software, Proceedings of the First International Workshop on Embedded Software(EMSOFT 2001)*, Tahoe City, CA, October 2001.
- [10] MPEG-2, International Standard ISO/IEC 13818, ISO/IEC, Switzerland, 1996.